

★OKID S02 1999-433167/37 ★JP 11173902-A

Optical fiber weight sensor for measuring weight of e.g. transit vehicle — has demodulator that demodulates electrical signal, computes distortion of structure and computes weight of measured object

OKI ELECTRIC IND CO LTD 1997.12.10 1997JP-339687

S03 (1999.07.02) G01G 9/00, G01G 19/03, G01J 9/02, G01M 11/00

NOVELTY - A demodulator (6) demodulates an electrical signal, computes the distortion of a structure (1) and computes the weight of a measured object. An opto-electric transducer (5) performs the conversion of the strength of light to electrical signal. A sensor unit (4) enables the permeation of light from a light source (2) to a sensing fiber (4a) and a reference fiber (4b). **DETAILED DESCRIPTION** - The sensing fiber detects the distortion of the structure. the length of the sensing fiber is changed depending on the distortion of the structure. The structure is distorted in proportion to the weight of the measured object.

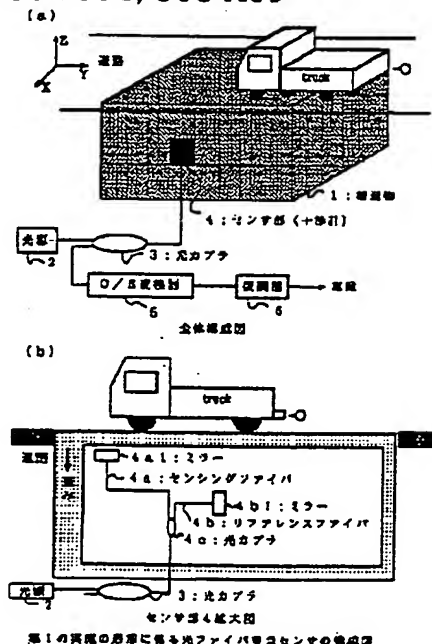
Use: For measuring weight of e.g. transit vehicle.

Advantage: Enables accurate gravimetry. Eliminates necessity of using an electronic circuit for performing the summation of the weight. Performs accurate weight measurement even when the vehicle is in transit.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure show the block diagram of the optical fiber weight sensor. (1) Structure; (2) Light source; (4) Sensor unit; (4a) Sensing fiber; (4b) Reference fiber; (5) Opto-electric transducer; (6) Demodulator. (7pp Dwg.No.1/3)

N1999-322513

S02-D01X; S02-D02C; S02-J04; S03-A09



第1の真実の原理に基づきファイバオプティックの構成を

OPTICAL FIBER WEIGHT SENSOR

Patent Number: JP11173902
Publication date: 1999-07-02
Inventor(s): SHINDO YUGO; DOBASHI KOJI
Applicant(s):: OKI ELECTRIC IND CO LTD
Requested Patent: ☐ JP11173902
Application Number: JP19970339687 19971210
Priority Number(s):
IPC Classification: G01G9/00 ; G01G19/03 ; G01J9/02 ; G01M11/00
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a weight sensor, with which even the weight of a vehicle or the like under traveling can be more easily and exactly measured.

SOLUTION: This sensor is provided with a light source 2 for outputting the light of a single wavelength, a structure 1 to be distorted in proportion to the weight of an object to be measured, a sensor part 4, which has a sensing fiber 4a to change its length corresponding to the longitudinal distortion of the structure 1 and a reference fiber 4b to become the reference of a phase, for interfering the sensing fiber 4a and the reference fiber 4b by transmitting light from the light source 2, an O/E converter 5 for converting the intensity of light interfered by the sensor part 4 to an electric signal, and a demodulator 6 for demodulating the electric signal, calculating the distortion of the structure 1 and calculating the weight of the object to be measured.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-173902

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月2日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

G 0 1 G 9/00

G 0 1 G 9/00

19/03

19/03

G 0 1 J 9/02

G 0 1 J 9/02

G 0 1 M 11/00

G 0 1 M 11/00

U

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-339687

(22) 出願日 平成9年(1997)12月10日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 新藤 雄吾

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気

工業株式会社内

(72) 発明者 土橋 孝治

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気

工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 佐々木 宗治 (外3名)

(54) 【発明の名称】 光ファイバ重量センサ

(57) 【要約】

【課題】 走行中の車両等の重量でも、より簡単で正確に測定できるような重量センサを得る。

【解決手段】 単一波長の光を出力する光源2と、被測定物体の重量に比例して歪む構造物1と、構造物1の縦歪に応じて長さを変化させるセンシングファイバ4aと位相の基準となるリファレンスファイバ4bとを有し、センシングファイバ4a及びリファレンスファイバ4bに光源2からの光を透過させて干渉させるセンサ部4と、センサ部4により干渉させた光の強さを電気信号に変換するO/E変換器5と、電気信号を復調して構造物1の歪みを算出し、被測定物体の重量を算出する復調器6とを備えている。

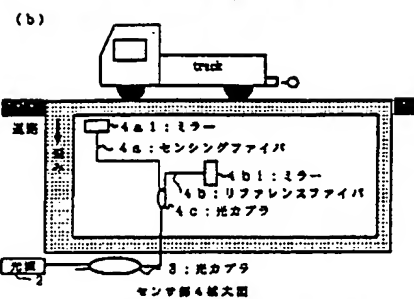
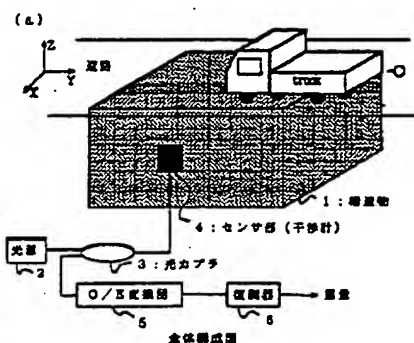


図1の項図の示す光ファイバ重量センサの構成図

【特許請求の範囲】

【請求項1】 単一波長の光を出力する光源と、被測定物体の重量に比例して歪む構造物と、該構造物の縦歪に応じて長さを変化させるセンシング用光ファイバと、位相の基準となる基準用光ファイバとを有し、前記センシング用光ファイバ及び前記基準用光ファイバに前記光源からの光を透過させて干渉させる光ファイバセンサ手段と、該光ファイバセンサ手段により干渉させた光の強さを電気信号に変換する光-電気変換手段と、前記電気信号を復調して前記構造物の歪みを算出し、前記被測定物体の重量を算出する復調手段とを備えたことを特徴とする光ファイバ重量センサ。

【請求項2】 単一波長の光を出力する光源と、被測定物体の重量に比例して歪む構造物と、該構造物の縦歪みに応じて長さを変化させる第1のセンシング用光ファイバと、前記構造物の横歪みに応じて長さを変化させる第2のセンシング用光ファイバとを有し、前記第1のセンシング用光ファイバ及び前記第2のセンシング用光ファイバに前記光源からの光を透過させて干渉させる光ファイバセンサ手段と、該光ファイバセンサ手段により干渉させた光の強さを電気信号に変換する光-電気変換手段と、前記電気信号を復調して前記構造物の歪みを算出し、前記被測定物体の重量を算出する復調手段とを備えたことを特徴とする光ファイバ重量センサ。

【請求項3】 前記復調手段は、前記電気信号から干渉縞の数に基づいて、位相差を検出し、位相差に基づいて前記構造物の歪みの最大値を算出して、該歪みの最大値に基づいて前記被測定物体の重量を算出することを特徴とする請求項1又は2記載の光ファイバ重量センサ。

【請求項4】 前記復調手段は前記電気信号を微分した微分信号に基づいて、前記構造物の歪みの最大値を算出し、該歪みの最大値に基づいて前記被測定物体の重量を算出することを特徴とする請求項1又は2記載の光ファイバ重量センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光ファイバを用いて、重量に比例した干渉光の位相変化による干渉に基づいて例えば走行中の車両等の物体の重量を測定する光ファイバ重量センサに関するものである。

【0002】

【従来技術】 物体の重量を測定するにはいくつかの方法がある。例えば「センサハンドブック」、pp. 468～473、片岡他に記載されているように、一般的な重量センサは、天秤、さお式はかりのような機械式と、電気抵抗線式、誘電式および電磁式等のような電子式に分類される。このうち電子式について説明する。電気抵抗線式は、歪みゲージ式ロードセルを用いたものであ

り、物体の重量を歪みゲージの抵抗変化として検出することによって測定するものである。また誘電式は2枚の極板間隔をキャパシタンス変化により検出し、電磁式は電磁力により天秤の不平衡位置量を検出することで、重量を測定するものである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、このような重量センサは、物体の重量を抵抗変化量等の電気信号で検出しているため、直接重量が加わるセンサ部分に電子回路を必要とし、例えば大型トラックの車重計測のように野外で重量を計測する場合は、センサの信頼性が問題になる。また車の重量を測定する場合、センサ上に車を停止させる必要があり、そのための計測時間と場所が別途必要になる。

【0004】 そこで、走行中の車両等の重量でも、より簡単に正確に測定できるような重量センサの実現が望まれていた。

【0005】

【課題を解決するための手段】 本発明に係る光ファイバ重量センサは、単一波長の光を出力する光源と、被測定物体の重量に比例して歪む構造物と、構造物の縦歪に応じて長さを変化させるセンシング用光ファイバと、位相の基準となる基準用光ファイバとを有し、センシング用光ファイバ及び基準用光ファイバに光源からの光を透過させて干渉させる光ファイバセンサ手段と、光ファイバセンサ手段により干渉させた光を電気信号に変換する光-電気変換手段と、電気信号を復調して構造物の歪みを算出し、被測定物体の重量を算出する復調手段とを備えている。本発明においては、被測定物体の重量に比例して歪んだ構造物の縦歪に応じて光ファイバセンサ手段のセンシング用光ファイバが長さを変化させ、その変化により生じる基準用光ファイバに透過される光との干渉光の位相差に基づいて、光-電気変換手段が電気信号に変換し、復調手段が電気信号を復調して構造物の歪みを算出し、被測定物体の重量を算出する。

【0006】

【発明の実施の形態】 実施形態1. 図1は本発明の第1の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの構成図である。本実施の形態の光ファイバ重量センサは光干渉センサであり、図1(a)は全体構成を表す図である。図において、1は構造物であり、例えば硬質ゴム等の弾性体の性質を有する材質でできていて、物体の荷重により歪む。ここで、構造物1は直方体の形状で、道路に埋設されていて、例えば道路を通過する車の重量による荷重が直方体上面に一樣に加わるようになっている。2は光源であり、例えばレーザー光のように、一度に様々な波長の光を含まない光（以下、単一波長という）を発光する（発光する光の波長が時間不変か時間可変かは問わない）。3は光カプラであり、光源2から発光された光をセンサ部4に透過させ、またセンサ部4からの光をO/

E変換器5に透過させるようにするものである。4はセンサ部であり、図1(b)はセンサ部4の構成を示す図である。センサ部4は、構造物1の高さ方向に対する歪みに比例して伸縮するセンシングファイバ4a、光の位相の基準となる光の通路となるリファレンスファイバ4b、センシングファイバ4a及びリファレンスファイバ4bを通過した光をそれぞれ反射させるミラー4a1及び4b1並びに光源2方向から光カプラ3を通過した光をセンシングファイバ4a及びリファレンスファイバ4bに分岐させて、またそれぞれの光ファイバから反射してきた光を干渉させるための光カプラ4cで構成される。それぞれの光ファイバを通過した光は、ミラー4a1及び4b1により反射され、同経路を逆進する。通常、反射光による干渉光の強さは一定している。5はO/E変換器であり、光カプラ4c及び光カプラ3を介して入力される干渉光の強さを電気信号に変換する。6は復調器であり、O/E変換器5によりO/E変換された電気信号に基づいて復調を行い、位相差を検出してセンシングファイバ4aの歪み $E(t)$ を検出し、その歪み $E(t)$ に基づいて、物体が通過した際の構造物1の最大歪み ϵ_{max} を算出し、物体の重量を算出する。

$$M = |s \cdot \epsilon_0 \cdot L|$$

ここで s はスティフネス[kgf/m]、 L は構造物1(直方体)の高さ[m]である。

【0009】走行車両の場合、構造物1に加わる重量は時間的に変化する。物体通過時の構造物1の最大歪みを ϵ_{max} とすると、最大歪み ϵ_{max} が検出されるのは、全車重が構造物1に加わる時である。したがって最大歪み ϵ_{max} を検出することにより、走行車の車重を式(1)から求めることができる。

【0010】なお、本実施の形態においては、構造物1の形状を直方体として説明したが、構造物1は、測定する重量に比例してセンシングファイバ4aの長さが伸縮されるような形状(例えば円柱等)の弾性体であれば、直方体に限らない。

【0011】以上のように第1の実施の形態によれば、車両の重量による構造物1の歪み ϵ に基づいて、センシングファイバ4aを伸縮させ、同位相の光をセンシングファイバ4a及びリファレンスファイバ4bをそれぞれに通過させたときにセンシングファイバ4aの長さの変化により生じる、センシングファイバ4aとリファレンスファイバ4bとの干渉光の位相差に基づいて、O/E変換器5がその干渉光の強さを電気信号に変換し、復調器6が電気信号に対して復調処理を行い、レーザ光の位相差を求め、この位相差に基づいて構造物1の歪みを算出し、物体の重量を求めるようにしたので、実際に重量による加重が加わる部分に電子回路を必要としないので、例えば野外等においても精度よく重量測定が可能である。また、干渉計の最大位相変化の測定を求めることにより、走行車の重量を算出することができるので、車

【0007】次にセンシング動作について説明する。構造物1上面を車が通過する際、構造物1の高さ方向には走行車の重量に比した歪み ϵ_0 が生じる。この時、センシングファイバ4aの長さもその歪み ϵ_0 に比して歪み $E(t)$ が生じるようにしておく。ここで、センシングファイバの長さが縮む方向に生じる歪みが正になるように $E(t)$ を定めておく。リファレンスファイバ4bの長さは変化しないので、センシングファイバ4aとリファレンスファイバ4bとの間にセンシングファイバ4aの伸縮による長さの差が生じる。この長さ変化によりファイバ中を伝搬するセンシングファイバ4aとリファレンスファイバ4bとの光の光路差に基づく位相差が生じ、反射光が互いに干渉を起こすときにその干渉光の強さが変化する。O/E変換器5は、その干渉光の強さを電気信号に変換し、復調器6がその電気信号に対して復調処理を行い、構造物1の最大歪み ϵ_{max} を算出し、物体の重量を求める。

【0008】ここで、構造物の歪み ϵ_0 と重量 M [kgf]の間には、フックの法則により次式(1)の関係が成り立つ。

$$\dots (1)$$

速に関係なく、また走行車を止めることなく重量を計測することができる。さらに、構造物1が道路に埋設されているため、走行車の重量を安全に計測することができる。

【0012】実施形態2. 図2は本発明の第2の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの構成図である。本実施の形態の光ファイバ重量センサは、位相差を生じさせる2本のセンシングファイバにおいて、一方のセンシングファイバの長さが伸び、もう一方の長さが縮むことで位相差を大きくするPush-Pull型光干渉センサである。ここで図1と同じ図番を付しているものは第1の実施の形態で説明したことと同様の動作を行うので説明を省略する。図2(a)は全体構成図である。図において、1a及び1bは構造物であり、構造物1と同様のそれぞれ直方体、円柱の形状の弾性体であり(以下、直方体1a、円柱1bという)、道路に埋設され、物体による荷重が直方体1a及び円柱1bの上面に一様に加わるものとする。また4Aはセンサ部であり、図2(b)はセンサ部4Aの構成を示す図である。センサ部4Aはセンシングファイバ4d及び4e並びにセンシングファイバ4d及び4eを通過した光をそれぞれ反射させるミラー4d1及び4e1を有し、センシングファイバ4dは直方体1aの道路に対して垂直な方向(高さ方向)に設けられ、センシングファイバ4eは円柱1bの周面に巻き付けられている。光カプラ4cにより、分岐された光は、それぞれのファイバを通過し、ミラー4d1及び4e1により反射され、同経路を逆進する。逆進した反射光は干渉し、その干渉光は光カプラ4c及び光カプラ

3を介してO/E変換器5に入力される。ここで、センシングファイバ4d及び4eは、それぞれ直方体1a及び円柱1bの歪みに比例して歪みを起こし、伸縮するものとする。

【0013】次にセンシング動作について説明する。直方体1a及び円柱1b上面を車が通過する際、直方体1a及び円柱1bには走行車の重量に比例した歪みが生じる。この時、直方体1aは高さ方向に縮む（つまり縦歪を起こす）ので、貼り付けたセンシングファイバ4dは縮む。センシングファイバ4dの長さもその歪みに比例して歪み $E(t)$ が生じるようにしておく。ここで、センシングファイバの長さが縮む方向に生じる歪みが正になるように、 $E(t)$ を定めておく。一方、円柱1bに関しては高さ方向に縮み、径方向には膨らむ（つまり横歪みを起こす）ので、円柱1bの周面に巻いたセンシングファイバ4eは伸びる。センシングファイバ4dが縮みを起こし、またセンシングファイバ4eが伸びを起こすという長さ変化のために、第1の実施の形態のように、一方の光ファイバの光を位相のを基準としたときよりも相対的な光の光路差が大きくなる。この光路差により生じる位相差により、干渉光の強さの変化ができる。O/E変換器5は、その干渉光の強さを電気信号に変換し、復調器6が電気信号の変化に対して復調処理を行い、直方体1aの歪み $E(t)$ を算出し、第1の実施の形態と同様に物体の重量を求める。

【0014】なお、本実施の形態では、重量を受けるための構造物を直方体1aと円柱1bで説明したが、測定する重量に比例して、一方の光ファイバが伸び、もう一方の光ファイバが縮むような形状の弾性体であれば、形

$$I = A + B \cos \{ knL \cdot E(t) + \psi \} \quad \dots (2)$$

ただし、 $E(t) = e_{\text{avg}} \times e(t)$: $e(t)$ は任意の時間関数

ここで、A、Bは定数、kは波数、nはコアの屈折率、Lはファイバ長、 ψ は環境雑音（温度等）による位相を表す。

【0017】構造物1上を走行車が通過し、歪み $E(t)$ が時間的に図3(b)の上グラフように変化すると、干渉光のO/E出力である電気信号の波形は、図3(b)下グラフのようになる。ここで、図3(b)下グラフの1-1'を交差する干渉縞の数は、位相差（歪み（重量））に比例して多くなるので、復調器6は干渉縞の本数をカウントし（以下、フリンジカウンティングという）、検出された干渉縞の本数に基づいて重量を求める。この干渉縞の数は位相差（つまり重量）により定まるものであるため、走行車の速度に関係なくその数は同じである。

【0018】フリンジカウンティングでは環境雑音 ψ の変動により、干渉縞の数は若干誤差を含んだものとなるが、重量に対する干渉光の位相差のレンジを広くすれ

ばは問わない。

【0015】以上のように第2の実施の形態によれば、車両の重量による構造物1の歪み e に基づいて、Push-Pull型により、センシングファイバ4dを縮ませ、またセンシングファイバ4eを伸ばすことにより、生じる干渉光の位相差の変化のレンジをさらに大きくすることができ、その位相差に基づいて、O/E変換器5がその干渉光の強さを電気信号に変換し、復調器6が電気信号に対して復調処理を行い、レーザ光の位相差を求め、この位相差に基づいて構造物1の歪みを算出し、物体の重量を求めるようにしたので、実際に重量による加重が加わる部分に電子回路を必要としないので、例えば野外等においても精度よく重量測定が可能である。また、干渉計の最大位相変化の測定を求めることにより、走行車の重量を算出することができるので、車速に関係なく、また走行車を止めることなく重量を計測することができる。さらに、構造物1が道路に埋設されているため、走行車の重量を安全に計測することができる。

【0016】実施形態3。図3は本発明の第3の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの復調器6における復調方法を表す図である。図3(a)において、7はオシロスコープであり、このオシロスコープ7によるO/E波形図と光ファイバの歪み $E(t)$ との関係を表す例が図3(b)である。O/E変換器5に入力した干渉光は、O/E変換される。自動車等の物体が構造物1上を通過することによるセンシングファイバの歪みを $E(t)$ で表すと、干渉光のO/E出力である電気信号は次式(2)で与えられる。

ば、干渉縞の数は多くなるため、歪みによる位相差の変化のレンジを広くし、干渉縞の本数を多くすれば、 ψ の変動による誤差を無視することができる。したがって、光ファイバの歪みによる位相差の変化のレンジが広くとれる場合には、精度よく走行車の重量を求めることができる。

【0019】以上のように第3の実施の形態によれば、復調器6がO/E変換器5でO/E変換された電気信号に基づいてフリンジカウンティングして干渉縞をカウントし、構造物1上を通過する速度に依存しない位相差を算出することにより構造物1上を通過する物体の重量を測定することが可能である。

【0020】実施形態4。第4の実施の形態では、復調器5の復調処理方法を第3の実施の形態とは、別の方法で行うことにする。式(2)において、これを微分すると、次式(3)で表される。

$$|I'| = B \cdot knL \cdot e_{\text{avg}} \times e'(t) \cdot \sin \{ knL \cdot E(t) + \psi \} \quad \dots (3)$$

ただし、 $E(t) = e_{\max} \times e(t)$: $e(t)$ は任意の時間関数

【0021】式(3)で表された信号を微分信号とすると、微分信号の絶対値の最大値は最大歪み e_{\max} に比例することになる。したがって、式(3)で表されるO/E波形の微分信号の絶対値の最大値を検出することにより、最大歪み e_{\max} を算出することができ、走行車の重量を求めることができる。この $E(t)$ の最大値の検出には、環境雑音による誤差が含まれないので、フリンジカウンティング法よりも精度が高くなる。

【0022】以上のように第4の実施の形態によれば、復調器6がO/E変換器5でO/E変換された電気信号を微分した微分信号に基づいて最大歪み e_{\max} を算出するので、環境雑音による位相差に依存せずに、高精度で構造物上を通過する物体の重量を測定することが可能である。

【0023】実施形態5、第1の実施の形態においては、一方を高さ方向のセンシングファイバとし、もう一方を基準用のリファレンスファイバとしたが、リファレンスファイバを構造物1の道路に平行な方向(側面)に貼付ることにより、荷重が加わる高さ方向の歪みに対する逃げのために側面は伸び、第2の実施の形態と同様のPush-Pull型光干渉センサとして構成することが可能である。

【0024】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、被測定物体の重量に比例して歪んだ構造物の縦歪に応じて光ファイバセンサ手段のセンシング用光ファイバが長さを変化させ、その変化により生じる基準用光ファイバに透過される光との干渉光の位相差に基づいて、光-電気変換手

段が電気信号に変換し、復調手段が電気信号を復調して位相差を検出し、位相差に基づいて構造物の歪みを算出して被測定物体の重量を算出するようにしたので、実際に重量による加重が加わる部分に電子回路を必要とせず、精度よく重量測定が可能である。また、時間に依存しない、重量に基づく光の位相変化による測定のため、物体の通過速度に関係なく、重量を計測することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの構成図である。

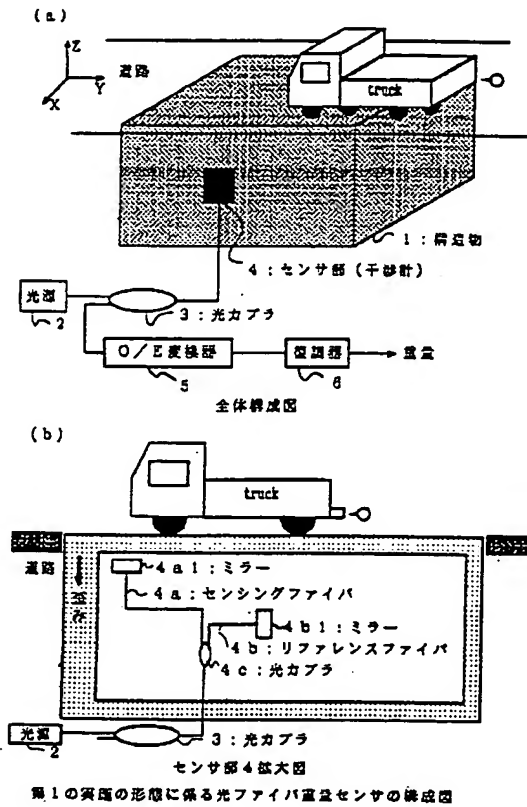
【図2】本発明の第2の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの構成図である。

【図3】本発明の第3の実施の形態に係る光ファイバ重量センサの復調器6における復調方法を表す図である。

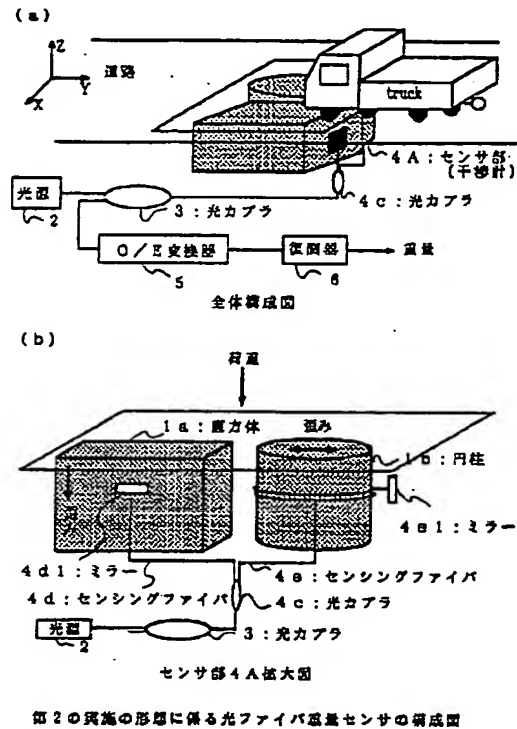
【符号の説明】

- 1 構造物
- 1a 直方体
- 1b 円柱
- 2 光源
- 3、4c 光カプラ
- 4、4A センサ部
- 4a、4d、4e センシングファイバ
- 4b リファレンスファイバ
- 4a1、4b1、4d1、4e1 ミラー
- 5 O/E変換器
- 6 復調器
- 7 オシロスコープ

【図1】

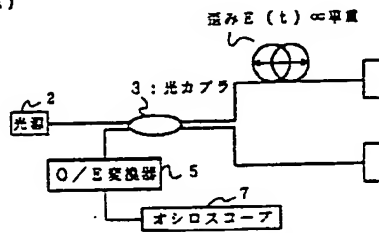


【図2】



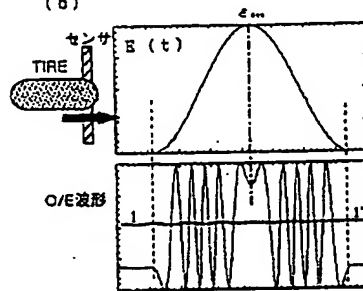
【図3】

(a)



O/E出力: $I = A + B \cos(kL \sin E(t) + \phi)$

(b)



$kL \sin E_m = 3.0 \text{ rad}$ $\phi = \pi/2$ の場合
O/E波形と $E(t)$ との関係を示す図

図3(a)における復調方法を表す図